

Henrik Nilsson

# SÄHKÖSUODATTIMEN SUURJÄNNITELAITTEIDEN MODERNISOINTI

Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma  
2020

# SÄHKÖSUODATTIMEN SUURJÄNNITELAITTEIDEN MODERNISOINTI

Nilsson, Henrik  
Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan koulutusohjelma  
Tammikuu 2020  
Sivumäärä: 34  
Liitteitä: 0

Asiasanat: sähkösuodatin, muuntaja, savukaasupäästö, soodakattila, modernisointi

---

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia vaikutuksia voimalaitoksen savukaasujen päästöihin suurjännitelaitteiden uusimisen yhteydessä. Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä ECP Group Oy:n kanssa joka on erikoistunut ilmansuojeluun sekä ympäristötekniikkaan.

Tutkittavana kohteena oli Stora Enso Sunilan sähkösuodattimet ja sen soodakattila, jossa tutkittiin suurjännitelaitteiden uusimisessa vaikutukset savukaasupäästöihin, että mikä on muuttunut ja miten se on vaikuttanut modernisoinnissa.

Tutkittavat arvot käytiin mittaamassa Sunilan Stora Ensolla ennen modernisointia. Suurjännitelaitteiden vaihdon jälkeen mittaukset tehtiin uudelleen ja näitä tuloksia vertailtiin keskenään, mitä muutoksia tapahtui ja miten se vaikutti sähkösuodattimen toimintaan ja laitoksen päästölukemiin.

Tutkimustuloksena saatiin mittauksiin perustuvan pohjan ECP Group Oy:lle sekä Stora Enso:lle siitä, miten modernisointi vaikuttaa päästöihin. ECP Group Oy sekä Stora Enso pystyvät hyödyntämään tulevaisuudessa opinnäytetyö aineistoa suurjännitelaitteiden uusimisissa.

# ESP HIGH VOLTAGE DEVICE MODERNIZATION

Nilsson, Henrik

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Bachelor of Electrical Engineering

January 2020

Number of pages: 34

Appendices: 0

Keywords: Electrostatic Precipitator, transformer, flue gas emission, recovery boiler, modernization

---

The purpose of this thesis was to examine benefits of high voltage device modernization and how it effects to flue gas emissions. Thesis was made cooperation with ECP Group Oy which is specialized environmental protection and energy technology.

Subject for this research was electrostatic precipitator and recovery boiler in Stora Enso Sunila Oy where there was measured flue gas emissions and current- and voltage values.

The values under study measured in Stora Enso Sunila's powerplant before modernization. After modernization was made, the measurements were made again, these results were compared with each other and how it affected for flue gas emissions.

Results of the study was measurement-based data for ECP Group Oy and Stora Enso Oy on how modernization affects flue gas emissions. In future, ECP Group Oy and Stora Enso Oy will be able to use materials for future projects.

## Sanasto

$\text{SO}_3$

$\text{CaO}$

$\text{SiO}_2$

$\text{Al}_2\text{O}_3$

$\text{CaSO}_4$

kV

Hz

IGBT

mA

AC

DC

LC-piiri

ESP

$I_{dc}$

$U_{dc}$

kW

Rikkitrioksidi

Kalsiumoksidi

Piidioksidi

Alumiinioksidi

Kalsiumsulfaatti

Kilovoltti

Hertsi

Bipolaaritransistori

Milliampeeri

Vaihtovirta

Tasavirta

Värähtelypiiri

Sähkösuodatin

Toisiovirta

Toisiojännite

Kilowatti

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITTEET JA LÄHTÖTIEDOT .....	8
2.1	Toimeksianto.....	8
2.2	Toimeksiantajat.....	8
2.2.1	ECP Group Oy.....	8
2.2.2	Stora Enso Oy .....	9
2.2.3	Stora Enso Oy – Sunilan tehdas .....	9
2.3	Tarkoitus .....	11
2.4	Tavoitteet .....	11
3	OPINNÄYTETYÖN TOTEUTTAMINEN .....	12
3.1	Sähkösuodatin .....	12
3.1.1	Yleistä .....	12
3.1.2	Toimintaperiaate.....	13
3.1.3	Sähkösuodattimen mitoitukseen vaikuttavat tekijät .....	14
3.1.4	Lämpötila .....	16
3.1.5	Kaasun koostumus.....	16
3.1.6	Palamattomat hiukkaset.....	16
3.1.7	Kaasun nopeusjakauma sähkösuodattimessa .....	17
3.1.8	Pölyn ominaisvastus .....	17
3.1.9	Ominaisvastukseen vaikuttavat tekijät .....	18
3.2	Soodakattila.....	19
3.2.1	Soodakattilan tehtävät .....	19
3.2.2	Natriumin ja rikin talteenottaminen.....	19
3.2.3	Höyryn tuottaminen.....	20
3.3	Sellu .....	22
3.4	NWL muuntajat ja ohjauslaitteet .....	23
4	SOODAKATTILA 11 SÄHKÖSUODATTIMET.....	24
5	LAITTEIDEN TEKNINEN VERTAILU .....	25
5.1	Matalajännitteinen AC/DC-vaihe .....	25
5.2	Suurtaajuuksinen DC/AC-vaihe.....	25
5.3	Yksikön resonanssitankkivaihe.....	26
5.4	Suurjännitteinen AC/DC-vaihe.....	26
5.5	Ero vanhoihin laitteisiin.....	27
6	MITTAUKSET ENNEN MODERNISOINTIA .....	29
6.1	Mittasignaalit ennen modernisointia.....	30
7	MITTAUKSET MODERNISOINNIN JÄLKEEN.....	31

8 TULOKSET .....	32
9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA .....	33
LÄHTEET .....	34
LIITTEET	

# 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on käsitellä ilmansuojelua ja laitoksien savukaasujen puhdistukseen liittyviä ratkaisuja.

Opinnäytetyössä kerrotaan sähkösuodattimen toiminnasta voimalaitoksilla sekä sen eri vaikutuksia savukaasupäästöihin, miten sähkösuodatin toimii ja miten sen sähkölaitteet ja mekaaniset laitteet toimivat.

Aihe käsittelee Stora Enso Sunilan laitoksen soodakattila SK11 sähkösuodattimen suurjännitelaitteiden uudistusten vaikutuksia savukaasujen hiukkaspäästöihin, missä sähkösuodattimiin ja ilmansuojelemiseen erikoistunut yritys ECP Group Oy toimi toimeksiantajana.

Aihe syntyi ideasta, jossa ECP Group Oy halusi saada raportoitavia tuloksia Stora Enso Sunilan voimalaitokseen tehtävän modernisoinnin yhteydessä tehtävistä mittaustuloksista, joita voidaan käyttää tulevaisuudessa vertailuun sekä halusta selvittää kuinka suuri vaikutus modernisoinnilla on.

Tutkimuksessa tulokset ja siitä raportoitavat materiaalit on saatu Stora Enso Sunilan savukaasumittauksissa.

## 2 OPINNÄYTETYÖN TARKOITUS, TAVOITTEET JA LÄHTÖTIEDOT

### 2.1 Toimeksianto

Projektissa tutkitaan toimeksiantaja yritys ECP Group Oy:n kanssa Stora Enso Sunila Oy:n soodakattila SK11 sähköisten mittausten kautta virta- ja jännitearvojen eroavaisuuksia vanhojen ja uusien sähkölaitteiden välillä ja miten uudistaminen vaikuttaa päästöarvoihin. Käytännöllisen työn osuudessa tehdään mittaukset ennen sähkölaitteiden modernisointia Stora Enso Sunila Oy:n laitoksella, josta mitataan jokaisesta sähkösuodattimen kentästä syöttöjännite, katsotaan ohjauspaneelistä syöttöparametrit, ajoarvot, virta/jännitekäyrä sekä Fluke 125-skoopilla käyrät virroista sekä mittasignaaleista.

Vastaavanlaiset mittaukset tehdään modernisoinnin jälkeen ja näitä arvoja vertaillaan keskenään, että miten modernisointi on vaikuttanut savukaasupäästöihin.

### 2.2 Toimeksiantajat

#### 2.2.1 ECP Group Oy

Vuonna 2001 perustettu ympäristötekniikkaan erikoistunut yritys. Yritys on yksi johtavia yhtiöitä sähkösuodattimien suunnittelussa, valmistamisessa sekä sähkösuodattimiin liittyvissä toimenpiteissä. Yrityksellä on yhteistyökumppaneita kansainvälisesti ja yhtiö valmistaa sähkösuodattimia Suomen lisäksi muualle Eurooppaan sekä Aasiaan.



### 2.2.2 Stora Enso Oy

Stora Enso Oy on maailmanlaajuinen yritys puusta perustuvan biomassan valmistuksessa sekä muissa puuhun liittyvissä ratkaisuihin. Stora Enso Oy on yksi johtavista tekijöistä biotaloudessa sekä uusiutuvien ja ympäristöystävällisten tuotteiden valmistuksessa. Stora Enso Oy syntyi vuonna 1998, kun Stora Kopparbergs Bergslags Aktiebolag (STORA) ja Enso Oyj yhdistyivät. (Stora Enso Oy:n www-sivut 2019).

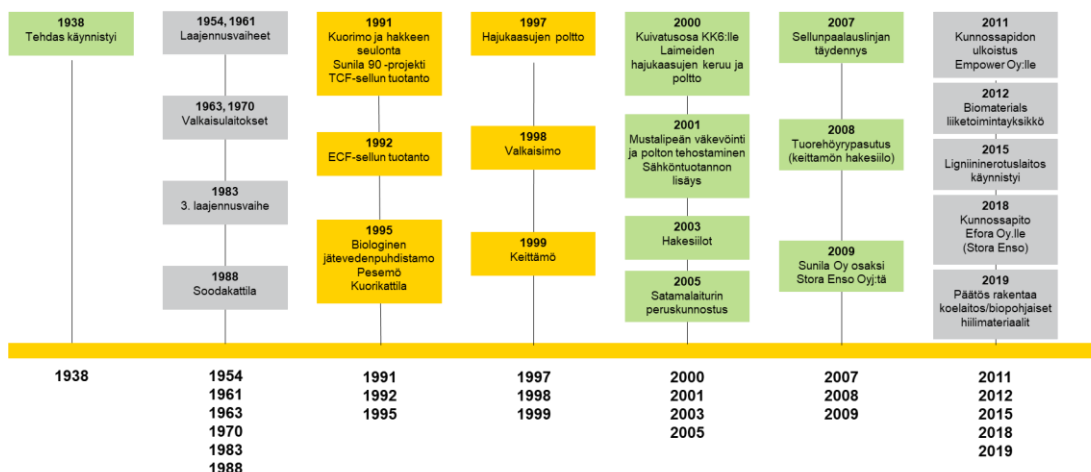
### 2.2.3 Stora Enso Oy – Sunilan tehdas

Sunilan tehtaalla valmistetaan mm. valkaistua havupuusellua, mäntypölypohjaista Supreme by Stora Enso-tuotetta, kuusi- ja havukepohjaista Supreme Strong by Stora Enso-tuotetta, huippukuivaa ligniiniä, mäntyöljyä sekä tärpättiä.

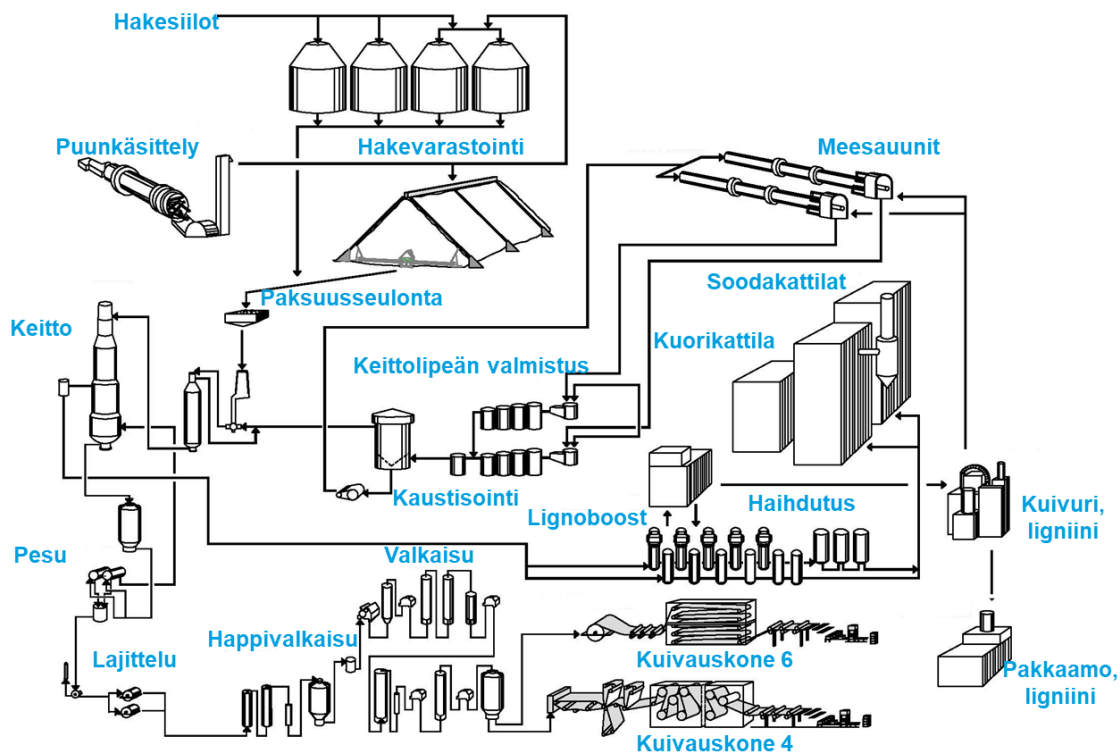
Tehdas tuottaa kapasiteetiltaan 375000 t/a valkaistua sulfaattisellua havupuusta.

Sunilan tehtaan kilpailuedun tuo lujuusominaisuudet ja tasalaatuisuus, jotka ovat tuloksreseptin hallinnan ainutlaatuisesta raaka-ainesyötöstä ja kuitua säästävästä keitosta. Tehtaalla käytettävät raaka-aineet ovat jopa 56% kotimaisia ja 44% on tuontipuuta. Raaka-aineet koostuvat kuusi- ja mäntypölystä sekä sahanhakkeesta. Sunilan tehdas tuottaa energiansa omavaraisesti.

Sunilan tehdas sijaitsee Kotkassa ja tehtaan johtaja on Timo Tidenberg. Tehtaalla työskentelee 156 vakituisessa työsuhteessa olevaa työntekijää. (Stora Enso Oy Sunila tehdasesite lokakuu 2019).



Kuva 1. Sunilan tehtaan vaiheita vuodesta 1938 lähtien. (Stora Enso Oy Sunilan tehdasesite lokakuu 2019).



Kuva 2. Sunilan tehtaan tuotantovaiheet (Stora Enso Oy Sunilan tehdasesite lokakuu 2019).

## 2.3 Tarkoitus

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia Stora Enso Sunilan suurjännitelaitteiden uusimisen myötä tapahtuneet muutokset. Stora Enso Sunilan soodakattila 11:llä on kokoluokaltaan 3 samanlaista sähkösuodatinta, jotka sisältävät jokainen 3 eri kenttää (A, B ja C). Kenttiin B- ja C uusittiin suurjännitemuuntajat ja muuntajat sisältävät integroidun ohjausjärjestelmän. Kenttiin A muuntajat on uusittu jo vuonna 2013. Myöskin vanhojen ohjauskeskusten sisälle tehtiin sisäisiä kytkennän muutoksia sekä pieniä komponentti- sekä laiteuudistuksia.

## 2.4 Tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteet olivat modernisoinnin yhteydessä parantaa sähköisten laitteiden tehoa savukaasupäästöjen pienentämistä varten. Työssä tutkittiin myös, kuinka suuri vaikutus modernisoinnilla on sähkösuodattimen savukaasujen hiukkaspäästöihin. Lisäksi haluttiin selvittää voisiko ECP Group Oy tehdä vastaavanlaisia toimenpiteitä tulevaisuudessa muihin laitoksiin savukaasupäästöjen pienentämistä ajatellen. ECP Group Oy pyrkii hyödyntämään opinnäytetyön tuloksia tulevaisuudessa suunnittelussa ja ongelmanratkaisuisissa.

### 3 OPINNÄYTETYÖN TOTEUTTAMINEN

#### 3.1 Sähkösuodatin

##### 3.1.1 Yleistä

Ilmassa esiintyvät epäpuhtaudet ovat kaasumaisia, nestemäisiä tai kiinteitä. Kiinteät epäpuhtaudet eli hiukkaset muodostuvat noesta, tuhkasta, kvartsihiukkasista tai metallioksidoista. Näiden hiukkaskoot vaihtelevat 0,001  $\mu\text{m}$  - 1mm välillä.

Ilmassa esiintyviä epäpuhtauksia erotetaan pääsääntöisesti neljällä eri erotintyypillä jotka ovat:

- sähkösuodattimet
- kuitu-, eli letkusuodattimet
- mekaaniset erottimet, eli syklonit
- märkäerottimet, eli pesurit

Erotilaitteen valintaan vaikuttavat seuraavat tekijät:

- Lämpötila
- Kaasun koostumus
- Kaasun kosteus
- Erotettavien hiukkasten resistiviteetti
- Palamattomien hiukkasten osuus



Kuva 3. ECP Group Oy:n suunnittelema sähkösuodatin (ECP Group Oy:n www-sivut 2019).

### 3.1.2 Toimintaperiaate

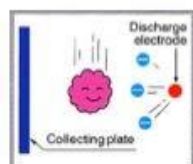
Sähkösuodatin toimii suurjännitteen avulla, jossa savukaasu johdetaan positiivisesti maadoitettujen keräyslevyistöjen ja suurjännitteeseen yhdistettyjen emissioelektrodien välisiin kaasusoliin.

Emissioelektrodeja varataan negatiivisesti tasasuunnatulla korkeajännitteellä. Emissioelektrodeilla tapahtuu koronapurkaus, jolloin negatiivisten elektronien avulla syntyy sähkövirta. Elektronien törmätessä kaasumolekyyleihin ne ionisoituvat ja varaavat pölyhiukkasia negatiivisella varauksella. Sähkövoiman avulla varautuneet pölyhiukkaset ajautuvat positiivisesti maadoitetuille keräyslevyille, jonka jälkeen ravistimien avulla pöly pudotetaan suodattimen pohjalle pohjasuppiloon.

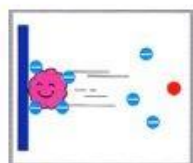
Sähkösuodattimen sähköisessä kentässä on esimerkiksi  $1\mu\text{m}$  kokoluokan hiukkaseen kohdistuva vetovoima noin 3000-kertainen painovoimaan verrattuna.

Emissioelektrodien läheisyydessä kenttävoimakkuus ja elektronien kiihtyvyys on suuri, jolloin elektronit voivat kaasumolekyyleihin törmätessään irrottaa sen uloimmat elektronit, jolloin se saa positiivisen varauksen. Tässä tapauksessa emissioelektrodeja lähellä olevat pölyhiukkaset ajautuvat emissioelektrodeille, jonka johdosta

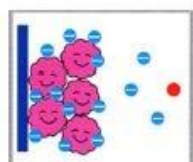
emissioelektrodejakin on ravisteltava ylläpitääkseen sähköisen toiminnan. 2-3% pölystä kiinnittyy emissioelektrodeille. (ECP Group Oy:n sähkösuodattimen käyttö- ja hoito-ohje 2019).



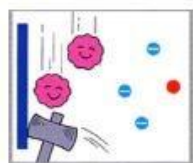
Elektrodit varautuvat negatiivisesti ja tapahtuu koronapurkaus



Negatiiviset elektrodit keräävät hiukkaset keräyslevylle



Tuhkahiukkaset keräytyvät keräyslevylle jatkuvasti sähkösuodattimen käydessä



Ja tietyn ajan välein tuhka ravistellaan pois keräyslevyltä jolloin tuhka tippuu alas pohjasuppiloon

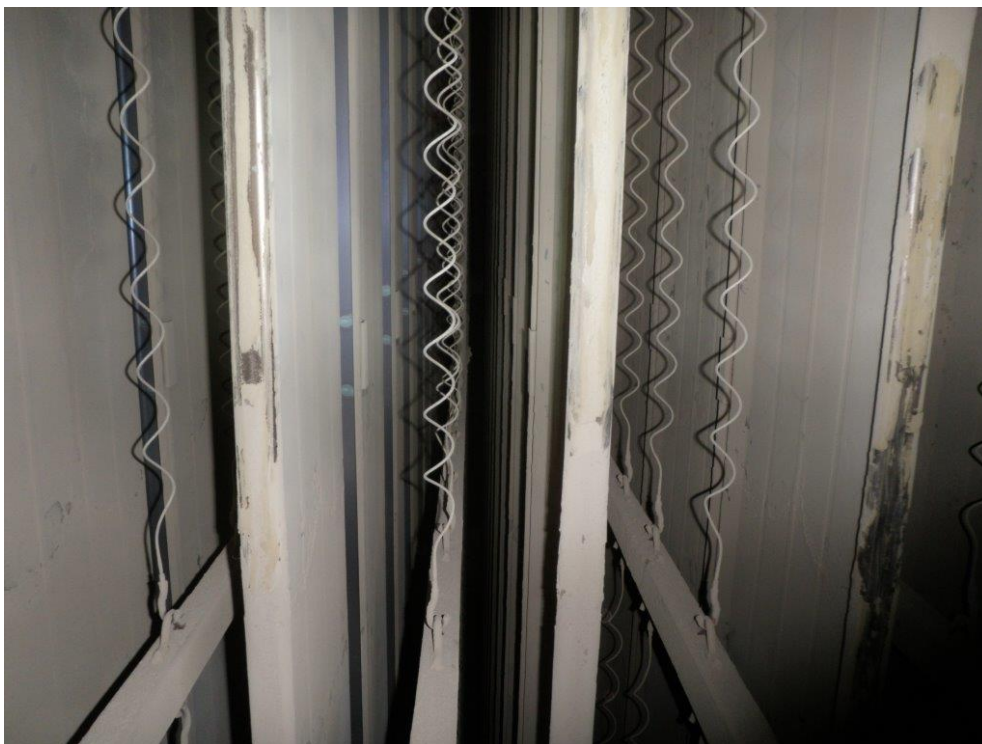
Kuva 4. Sähkösuodattimen tuhkapoiston vaiheet

### 3.1.3 Sähkösuodattimen mitoitukseen vaikuttavat tekijät

Hiukkaset erotetaan kaasuvirrasta ja täten saadaan aikaan sähköisten voimien ansiosta suurempi erotusaste. Ominaisvirrankulutuksen yksikkönä käytetään  $\text{mA/m}^2$ , eli sähkövirta jaettuna keräyslevyn pinta-ala. Sähkösuodattimet kuluttavat virtaa  $0,3 \dots 0,7 \text{ mA/m}^2$ . Sähkövirran suurennusta rajoittaa ylilyöntiraja, joka kenttä kohtaisesti on suuruudeltaan eri kokoinen.

Ylilyönti eli läpilyönti tapahtuu emissioelektrodien ja erotuslevyjen välillä tai erotuslevylle kertyneen pölyn läpi. Ylilyönti eli läpilyönnin herkkyyys riippuukin kaasun dielektrisydestä, joka on taas riippuvainen kaasun lämpötilasta, koostumuksesta, ominaisvastuksesta.

Agglomeroitumisherkkyyys joka toiselta nimeltään on hiukkaskokojakauma, kaasun nopeus ja nopeusjakauma vaikuttavat suodattimen suorituskykyyn (ECP Group Oy:n sähkösuodattimen käyttö- ja hoito-ohje 2019).



Kuva 5. Sähkösuodattimen emissio elektrodeja (spiraali lanka) ja keräyslevyjä



Kuva 6. Sähkösuodattimen vasaroista (Vasarat lyövät keräyslevyn päässä olevaan iskupalaan, josta tärinä tiputtaa pölyn keräyslevyiltä)

### 3.1.4 Lämpötila

Kaasun lämpötilan kohotessa tapahtuu dielektrisyiden pieneneminen ja tästä johtuen myös läpilyöntijänniterajan aleneminen. Tällöin koronavirtataso jää matalaksi ja erotuskyky heikkenee lämpötilan kasvussa. Lämpötilan kohotessa pölyn resistiivisyys kasvaa ja tämä heikentää suodattimen toimintaa (ECP Group Oy:n sähkösuodattimen käyttö- ja hoito-ohje 2019).

### 3.1.5 Kaasun koostumus

Savukaasujen kuivuus riippuu prosessista. Kaasu sisältää vettä ja tämä vaikuttaa ominaisvastukseen alentavasti. Tästä johtuen pölyhiukkaset ottavat sähkövarausta vastaan paljon helpommin. Dielektrisyyslujuutta nostattavat vesihöyryionit, jotka nostavat koronavirtatasoa ja sähkösuodattimen hiukkasten erottelukykä. Rikin oksidit saavat aikaan myös saman vaikutuksen (ECP Group Oy:n sähkösuodattimen käyttö- ja hoito-ohje 2019).

### 3.1.6 Palamattomat hiukkaset

Savukaasuissa esiintyy palamattomia hiukkasia, jotka johtuvat epätäydellisestä palamisesta. Nämä ovat yleensä kevyitä ja huokoisia hiukkasia, jotka ovat kooltaan 10...30 µm:n välillä. Palamattomien pölyhiukkasten määrä vaihtelee nykyisissä biopolttokattiloissa prosenteista aina kymmeneen prosenttiin asti riippuen polttoaineiden kosteudesta ja homogeenisuudesta eli aineen tasakoosteisuudesta.

Palamattomien hiukkasten määrä vaikuttaa sähkösuodattimen erottelukykäyn. Pölypäästö voi nousta jopa kymmenkertaiseksi palamattomien hiukkasten määrän ollessa esimerkiksi 20%. Tämä johtuu hiukkasten hyvin pienestä ominaisvastuksesta. Täten ne menettävät heti keräyslevyille jouduttuaan sähkövarauksensa. Tästä johtuen ne eivät agglomeroidu eli kasaudu muiden pölyhiukkasten kanssa, vaan päätyvät takaisin savukaasuvirtaukseen (ECP Group Oy:n sähkösuodattimen käyttö- ja hoito-ohje 2019).



### 3.1.7 Kaasun nopeusjakauma sähkösuodattimessa

Suuria savukaasumääriä käsiteltäessä vaaditaan suurikokoisia suodattimia ja ne ovat kalliita. Tästä syystä on tärkeää, että suodattimen koko keräyspinta-ala tulee käytettyä.

Alhainen nopeus sähkösuodattimen poikkipinnalla aiheuttaa kapasiteetin epätehokasta käyttöä ja korkeat kaasun nopeudet auttavat keräytyneen pölyn ajautumista takaisin kaasuvirtaan.

Epätasainen nopeusjakauma saattaa aiheuttaa pyörteitä ja pölyn ajautumista takaisin kaasuvirtaukseen eri pohjasuppiloiden ja kenttien välillä. Suodattimiin on näin ollen aina asennettu virtauksenestolevystöjä kenttien reunoille ja yläosaan, sekä kenttien alareunojen ja pohjasuppiloiden väliin.

Kaasunohjauslevyillä voidaan säädellä kaasun nopeusjakamaa, jotka ripustetaan suodattimen tuloverhoon. Nopeusjakauma säädetään kerran ja tämä voi muuttua vuosien saatossa. Näin ollen tämä vaatii tarkistusta aika ajoin (ECP Group Oy:n sähkösuodattimen käyttö- ja hoito-ohje 2019).

### 3.1.8 Pölyn ominaisvastus

Sähkösuodattimen mitoitukseen oleellisesti vaikuttava tekijä on pölyn ominaisvastus. Sähkösuodattimen on täytettävä tietyt sähköiset kriteerit toimiakseen, joista oleellisin on ominaisvastus.

Ominaisvastuksen ollessa pieni, hiukkasen saavuttuaan keräyslevylle se menettää sähköisen voimansa. Ominaisvastuksen ollessa liian suuri, virran kulkeutuminen kokoojalevylle estyy pölykerroksen läpi ja sähkösuodattimen toiminta heikkenee. Tällöin pölykerroksen yli syntyy suuri jännite ja se voi aiheuttaa koronapurkauksen pölykerroksen sisällä. Tällöin pölykerros hajoaa ja suodattimen toimintaa huononee.

Pölyn ominaisvastuksen yksikkö on  $\Omega\text{cm}$ . Tämä arvo saadaan kertomalla pölynäytteen sähköinen vastus sen pinta-alalla ja jakamalla sen paksuudella. Luku ilmoittaa  $1\text{cm}^2$ :n poikkipintaisen ja 1 cm pitkän pölynäytteen vastuksen.

Komponentit jotka korottavat pölyn ominaisvastusta ovat kvartsi, alumiini, kalsium, arseeni, lyijyn ja sinkin oksidit. Komponentit jotka alentavat ominaisvastusta ovat natrium, kalium, litium, rikki, fosfori ja rauta.

Ominaisvastus on pieni lämpötilan ollessa matala. Kun lämpötilan kasvaessa, kasvaa myös ominaisvastus ja tällöin voi esiintyä ”back-corona”-ilmiö eli koronapurkaus pölykerroksen sisällä. Lämpötilan edelleen noustessa alkaa ominaisvastus laskea. Tästä syystä savukaasuja joudutaan jäähdyttämään ennen sähkösuodattimelle syöttöä aleentaakseen ominaisvastusta ja parantaakseen erotuskykyä (ECP Group Oy:n sähkösuodattimen käyttö- ja hoito-ohje 2019).

### 3.1.9 Ominaisvastukseen vaikuttavat tekijät

Lämpötilan ollessa alhainen ominaisvastukseen vaikuttaa pintajohtavuuden välityksellä savukaasujen kosteus ja  $\text{SO}_3$ -pitoisuus. Vesipitoisuuden lisääntyessä veden absorboituminen, eli imeytyminen hiukkasten päälle lisääntyy, joka lisää pintajohtavuutta ja ominaisvastus alenee parantaen suodattimen suorituskykyä.

Savukaasuissa vapaana oleva  $\text{SO}_3$  nostattaa savukaasujen happokastepistettä ja edesauttaa veden imeytymistä hiukkasten pinnalle ja näin ollen ominaisvastus heikkenee. Vapaana oleva  $\text{SO}_3$  vaikuttaa ainoastaan pintajohtavuuteen. Jos tuhkan sisältämä  $\text{CaO}$  reagoi  $\text{SO}_3$  kanssa ja muodostaa sulfaattia,  $\text{CaSO}_4$ , vaikuttaa se ominaisvastuksen kasvamiseen. Ominaisvastuksen kasvuun vaikuttavat myös tuhkan sisältämät  $\text{SiO}_2$  ja  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (ECP Group Oy:n sähkösuodattimen käyttö- ja hoito-ohje 2019).

### 3.2 Soodakattila

Soodakattilaa käytetään selluteollisuudessa sellunvalmistuksen sivutuotteen, eli mustalipeän polttamiseen. Mustalipeä on väriltään mustaa ja sisältää suurimman osan sellunkeiton prosessissa käytetyistä epäorgaanisista aineista esim. ligniiniä, natrium- ja rikkipohjaisia kemikaaleja. (Knowpulp.com www-sivut 2019).

Sulfaattisellutehtaissa valkolipeä reagoi pääosin ligniinin kanssa ja täten syntyy mustalipeä sellunkeitossa.

Mustalipeä erotetaan sellusta prosessin pesuvaiheessa, josta siitä haihduttamossa poistetaan ylimääräiset vedet, josta taas mustalipeä menee poltettavaksi soodakattilalle.

(Knowpulp.com www-sivut 2019).

#### 3.2.1 Soodakattilan tehtävät

Soodakattilan tehtäviin kuuluu kemikaalien talteenotto ja prosessissa syntyvän palamisesta tulevan lämmön talteenotto. Soodakattilassa poltettavasta mustalipeästä irtoaa rikkiä ja natriumia ja ne jatkokäsitellään sopivina yhdisteinä. Toisaalta myös mustalipeän palamisen myötä vapautavaa lämpöenergiaa käytetään myös höyryn tuottamiseen, eli soodakattila toimii myös höyrykattilana.

Soodakattilan tehtäviin kuuluu:

- Keitossa olevien kemikaalien talteenotto
- Polttaa ekologisesti mustalipeän sisältämä orgaaninen aines ja ottaa talteen prosessista syntynyt lämpö

(Knowpulp.com www-sivut 2019).

#### 3.2.2 Natriumin ja rikin talteenottaminen

Soodakattilassa oleva mustalipeä sisältää rikkiä, joka sitemmin pelkistetään natriumsulfidiksi. Osa rikkiä sisältävistä yhdisteistä ei pelkisty. Pelkistymis- eli reduktioaste määrittelee natriumsulfidiksi pelkistyneen natriumsulfaatin määrän. Mustalipeän eri muodossa oleva natrium muodostaa natriumkarbonaattia

reagoidessaan hiilidioksidin kanssa polttoprosessissa. (Knowpulp.com www-sivut 2019).

Soodakattilan alaosasta kouruja pitkin alas valuva kemikaalisula sisältää natriumsulfidia, natriumsulfaattia ja natriumkarbonaattia. Valuva sula liuotetaan valkolipeään, josta syntyy viherlipeää ja viherlipeä johdetaan prosessoitavaksi keitossa käytettävään muotoon.

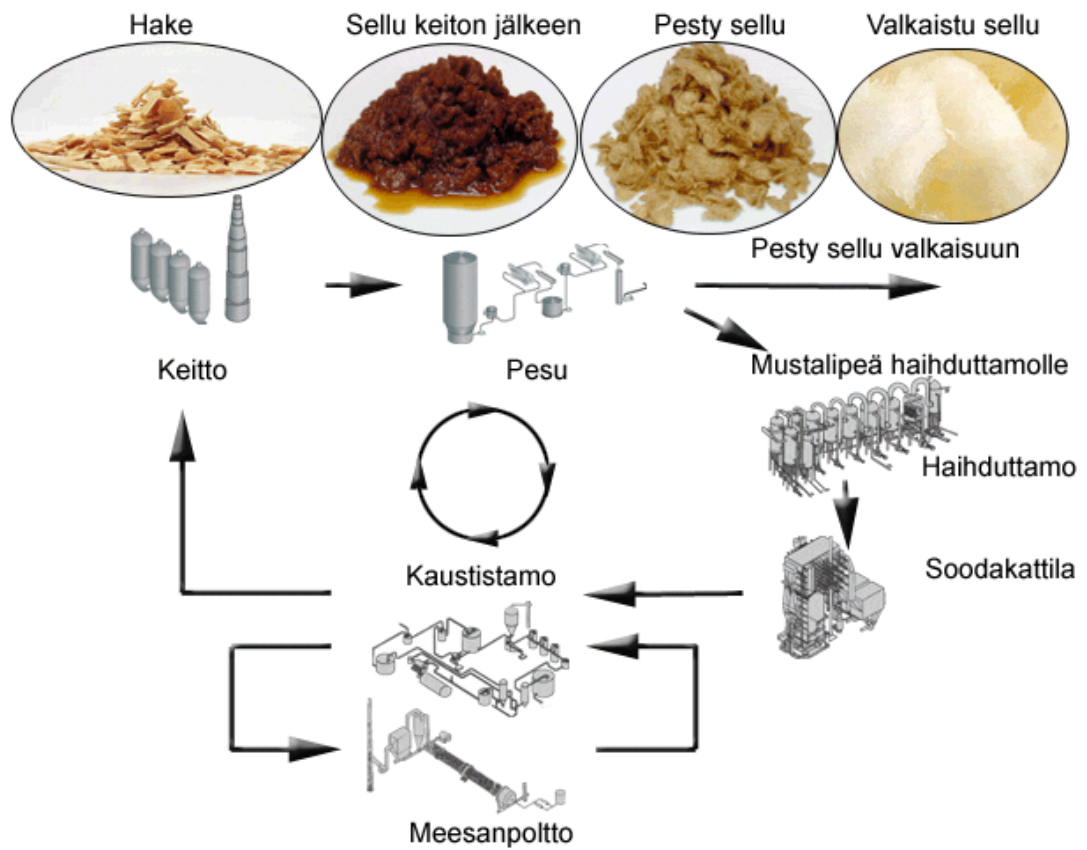
(Knowpulp.com www-sivut 2019).

### 3.2.3 Höyryn tuottaminen

Sellunkeitossa kuidut erotetaan liuottamalla puunligniini. Ligniini, liuenneet orgaaniset ja epäorgaaniset ainekset erotellaan pesussa. Mustalipeästä haihdutetaan vesi ja mustalipeän sisältämä natrium ja rikki erotellaan mustalipeästä polttamalla ne soodakattilassa, jolloin vapautuu merkittävä määrä lämpöenergiaa, joka säilötään soodakattilan kattilaveteen. Täten saadaan tuotettua sähköä veden höyrystyessä turbiinin avulla ja höyry voidaan myös käyttää prosessissa esimerkiksi puhdistamiseen soodakattilan nuohoamisessa.

Soodakattilan eri tehtävät eli natriumin ja rikin talteenotto (kemikaalien talteenotto) ja höyryn tuottaminen ovat kaksi täysin eri prosessia. Ilman lämmön talteenottamistakin kemikaalit voitaisiin erottaa toisistaan. Soodakattilaan kuuluva vesi/höyry-järjestelmä johon kuuluu syöttövesisäiliö, syöttöveden esilämmitin, keittopinnat, tulistimet, höyrylieriöt ja kattilan seinissä olevat seinäputket, ovat vain tarkoitettu höyryn tuottamista varten ja se ei ole tekemisissä kemikaalien erottamisen kanssa.

(Knowpulp.com www-sivut 2019).



Kuva 7. Sellunkeiton prosessikaavio (Knowpulp.com www-sivut 2019)



Kuva 8. Soodakattila (Soodakattilayhdistys www-sivut 2019)

### 3.3 Sellu

Paperi-, kartonki- ja selluteollisuus on pitkään kattanut jopa 2/3-osaa Suomen metsäteollisuuden arvosta. Osa tuotannosta myydään ulkomaille josta jopa viidesosa Suomen vientituloista koostuu metsäteollisuudesta.

Paperin valmistukseen tarvitaan puuta ja ennen kuin se saadaan tehtyä paperiksi puu rikotaan massaksi eli selluksi. Puun rikkominen tapahtuu siten, että tehtaalle tulevat puut haketetaan ja kuoritaan, jonka jälkeen hake siirretään keitettäväksi kemikaaliliuokseen. Keitettäessä puusta irtoaa side- ja liima-aineet jolloin hake muuttuu massaksi. Keittämisen ja erotuksen jälkeen ruskea massa pestään ja valkaistaan eri vaiheissa. Valkaisuprosessin jälkeen sellu kuivataan ja pesusta tullut ylimääräinen vesi haihdutetaan pois. Kuivatettu sellu tämän jälkeen pilkotaan ja pinotaan paaleiksi, jotka yhdistetään n. 1000-2000 kiloiksi pinoiksi kuljetusta varten.

Havupuiden kuidut ovat pitkiä jotka tuovat paperille lujuutta ja lehtipuilla lyhyet kuidut tuovat taas tasaista ja laadukasta paperia ja kartonkia.

Puu käytetään sellunvalmistuksessa tehokkaasti ja sellutehtailla puusta syntyy myös mäntyöljyä, tärpättiä, sähköä ja höyryä. Sellutehtailla tuotetaan bioenergiaa jota käytetään tehtaan omavaraiseen käyttöön, valtakunnalliseen verkkoon ja lähiympäristössä asuville henkilöille. Metsäteollisuus on suurin bioenergian tuottaja Suomessa.

Sellunkeiton prosessissa käytettävät kemikaalit ja vesi kierrätetään uudestaan. Lopulta jo moneen kertaan kierrätetty vesi puhdistetaan jätevedenpuhdistamolla, joissa pienennetään ravinnekuormitusta ja happea kuluttavien aineiden määrää. Täten estetään vesistöjen hapenpuute ja rehevöityminen. (Biotalous.fi www-sivut 2019)

### 3.4 NWL muuntajat ja ohjauslaitteet

NWL on Yhdysvaltalainen korkeajännitetekniikan virtalähteiden valmistaja joka valmistaa tuotteitaan sähkösuodattimen sähköiseen käyttöön. PowerPlus-yksiköt integroivat ohjaimen, virranrajoituselementin ja T/R-sarjan (muuntaja/tasasuuntaaja) toiminnot yhteen kompaktiin korkeajännitevirtalähteeseen käytettäväksi sähkösuodattimessa.

NWL tarjoaa PowerPlus-malleja 70kV, 83kV ja 100kV kokoluokissa. NWL aloitti PowerPlus:n suunnittelun ja valmistuksen vuonna 2000. Eristettyjen kaksipuolisten transistorien (IGBT) käyttö tarjoaa virtalähteen suunnittelun, joka toimii paljon korkeammalla taajuudella (25kHz) ja jonka erotuskyky on parempi kuin verrattuna tavanomaisen yksivaiheisen yksikön toimintataajuuteen (50Hz).

NWL PowerPlus-muuntaja on suunniteltu kestämaan kuumissa, likaisissa ja muissa erilaisissa olosuhteissa, sillä useimmiten NWL-muuntajan sijoituspaikka on sähkösuodattimen katolla mikä on joko kokonaan ulkona tai voimalaitoksen sisätiloissa. NWL-muuntajissa jäähdytys on toteutettu niin, että se ei vaadi ilmansuodattimia ja minimoi huolto tarpeet. Jäähdytyslevyjen välien etäisyydet ovat sellaiset, että IGBT-jäähdytys ei kerää pölyä tai likaa ohjausrasiaan, sillä se on täysin suljettu. (NWL.com www-sivut 2019)

NWL PowerPlus:n käyttö on helppoa ja sen mahdollistavatkin monipuolinen ohjausjärjestelmä. NWL PowerPlus:n sisälle on keskitetty sähkötekniikka, tehoelektroniikka ja ohjausjärjestelmä joka pienentää mm. kaapelointi- ja asennuskuluja.



Kuva 9. Kuva muuntajan mallista, jotka Sunilan tehtaalle vaihdettiin (Kuva ei ole Sunilan tehtaalta) (nwlpacific www-sivut 2019)

## 4 SOODAKATTILA 11 SÄHKÖSUODATTIMET

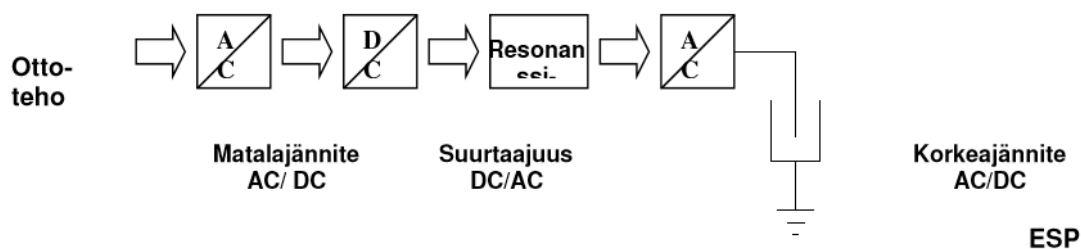
Soodakattila 11:ssä sähkösuodattimia on kolme jotka ovat erillään toisista, joissa jokaisessa sähkösuodattimessa erotuskenttiä on kolme. Sähkösuodattimilla jokaisella kentälle on oma korkeajännitemuuntaja eri erotuskentille, sekä ohjauskeskus, joista muuntajien ja suodattimien ohjaus tapahtuu. Modernisoinnissa muutokset on tehty niin, että ohjauspaneeli jolla asetellaan arvoja sekä ohjataan sähkösuodattimen, sekä muuntajien toimintaa on sijoitettu paikkaan josta yhdellä ohjauspaneelilla voidaan ohjata kaikkia muuntajia ja sähkösuodattimia. Vuonna 2013 jokaisen suodattimen A-kentän muuntajat vaihdettiin uusiin, joten niitä ei tässä käydä läpi tarkemmin. Ennen modernisointia muuntajat joita käytettiin oli Kraft Elektronik valmistajalta. Ohjauspaneelit mitkä ohjauskeskuksissa olivat oli MicroKraft ANA ja MicroKraft 2 ohjauspaneeleita.

Modernisoinnissa vaihdetut muuntajat olivat NWL merkkisiä, joita oli kahta eri tyyppiä. Jokaisen sähkösuodattimen B-kentän muuntaja oli kooltaan 70kV/800mA ja vastaavasti jokaisen C-kentän muuntaja oli kooltaan 70kV/1000mA.

Sähkösuodattimia ohjataan ns. etäkäytöllä valvomosta, joista näkee prosessiarvot sekä halutessaan arvoja pystyy muuttamaan esimerkiksi rajoittamaan jännitettä tai virtaa sekä mahdollisesti esimerkiksi ohjaamaan sähkösuodattimen ravistuksien toimintaa. Ohjauspaneelin avulla muuntajiin pystytään asettamaan/muuttamaan halutut virta- tai jännitearvot, sekä pysäyttämään suodattimen toiminnan halutessaan.



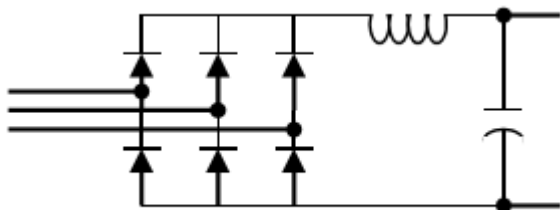
## 5 LAITTEIDEN TEKNINEN VERTAILU



Kuva 10. PowerPlus-yksikön sähköpiiri (NWL DSP PowerPlus Series 6:n tuoteopas 2019).

### 5.1 Matalajännitteinen AC/DC-vaihe

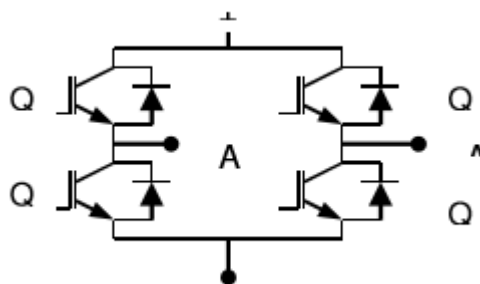
Kolmivaiheinen tuloteho suodatetaan ja tasasuunnataan matala-aaltoisemmaksi eli 650V:n (DC) ja 480 V:n (AC) DC-väyläksi. Suodattimessa tärkeä on induktoriosa joka nostaa tehokerrointa ja pienentää vaihtovirtalinjan virran värähtelyä.



Kuva 11. Matalajännitteinen AC/DC-vaihe (NWL DSP PowerPlus Series 6:n tuoteopas 2019).

### 5.2 Suurtaajuuksinen DC/AC-vaihe

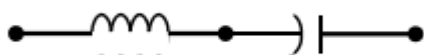
Tässä vaiheessa käytetään IGBT-transistoroitua kokosiltapiiriä, joka muuttaa DC-väylän suurtaajuiseen AC-aaltomuotoon, joka sitemmin syötetään taas seuraavaan vaiheeseen. Ensimmäiseksi IGBT-transistoreista Q1 ja Q4 johtavat virtaa samanaikaisesti jonka jälkeen Q2 ja Q3 johtavat myös samanaikaisesti. Q1/Q4-katkaisun ja Q2/Q3-avauksen välillä on aina pieni aikaviive.



Kuva 12. Suurtaajuuksinen DC/AC-vaihe (NWL DSP PowerPlus Series 6:n tuoteopas 2019).

### 5.3 Yksikön resonanssitankkivaihe

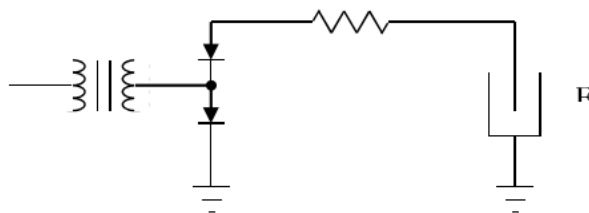
Tämä on induktori-vaihe joka on sarjoitettu kondensaattorin kanssa ja LC-piiri määrittää järjestelmän ominaisimpedanssin sekä AC-virran resonointitaajuuden.



Kuva 13. Yksikön resonanssitankkivaihe (NWL DSP PowerPlus Series 6:n tuoteopas 2019).

### 5.4 Suurjännitteinen AC/DC-vaihe

AC-virta nostetaan muuntajan avulla korkeajännitetasolle jonka jälkeen tasasuuntauspiiri muuntaa korkeajännitteisen ja suurtaajuuksisen AC-virran sähkösuodattimen (ESP) tarvitsemaksi korkeajännitteiseksi DC-virraksi. Tämän vaiheen komponentit on asennettu pieneen öljyllä täytettyyn tankkiin. Tämä vaihe on perinteisen muuntajatasasuuntausyksikön suurtaajuusvastine.

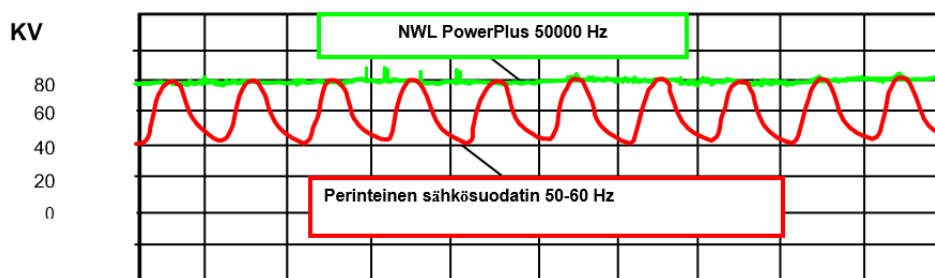


Kuva 14. Suurjännitteinen AC/DC-vaihe (NWL DSP PowerPlus Series 6:n tuoteopas 2019).

## 5.5 Ero vanhoihin laitteisiin

Parametri	PowerPlus	Perinteinen T/R-järjestelmä	Parametrien selitys ja niiden merkitys
kVdc	70	55	Toisiojännitteen keskiarvo. Maksimoidessaan tämän arvon, sähkösuodattimen erotuskyky paranee.
mAdc	1000	1000	
Lähtöteho(kW)	70	55	
Huippu kV	71,8	92,4	Maksimiarvo syöttöjännitteen aaltomuodolle, ts. Se missä valokaaria esiintyy.
Tulovirta (AAC)	94	227,1	
Sähkönsyöttö (Vaihemäärä)	3	1	
Jännitevaihtelu % (kVp-p)	3-5	35-45	Tasajännitteen vaihteluväli on laakso- ja huippuarvon ero. Minimoidessa jännitevaihtelua tarkoittaa se korkeampaa keskijännitettä tietyille huippujännitteelle.
Tehokerroin	0,94	0,63	Tehon ja näennäistehon suhde. Korkeampi PF tarkoittaa sitä, että kVA tulee olla pienempi saadakseen saman kW-kuorman. Hyödyllisyyden kannalta se tarkoittaa, että näennäistehoa täytyy

			syöttää enemmän verkkoon.
Tulo kVA	78,7	92,2	
Käyttötaajuus	25kHz	50Hz	Muuntajalle syötetty taajuus. Suuremmalla taajuudella saadaan nopeampi vasteaika ja muuntajan fyysinen koko saadaan pienemmäksi.
EMI suodatin	Kyllä	Kyllä	
Läpilyönnin sammumisaika (msec)	0,03	8,33	Vaadittava aika virransyötön katkaisulle, kun tulee läpilyöntejä. Pienempi sammumisaika minimoi vuoto virtaa ja tehoa jota syötetään suodattimelle.
En-immäislämpötila (deg C)	40	40	
Tilavuus m <sup>3</sup>	0,96	2,44	Pienempi tilan tarve ja paino ovat pienemmän muuntajan ja integroidun ohjauspaneelin ansiota.
Paino (kg)	454	1751	
Öljymäärä (litraa)	110	511	



Kuva 15. Jännitevaihtelut NWL PowerPlus:ssa ja perinteisessä sähkösuodattimessa (NWL esite 3 2019).

## 6 MITTAUKSET ENNEN MODERNISOINTIA

Sunilan tehtaalla mittaukset aloitettiin kirjaamalla ylös sen hetkiset ajoarvot soodakattilan polttoprosessissa. Prosessiarvot on otettu ennen modernisointia.

Prosessiarvot joita otettiin ylös ovat pölyarvot, höyryteho, happimäärä, häikä, savukaasuvirtaus, kuormasäätö ja lipeäteho. Nämä arvot ovat salattu salassapitosopimuksen mukaisesti.

Mittaukset aloitettiin Sunilan tehtaalla mittaamalla syöttöjännitteet jokaisen sähkösuodattimen kentän ohjauskeskuksesta. Syöttöjännitteiden mittausten jälkeen ohjauskeskusten ohjauspaneelista kirjattiin säätöparametrit eli asetusarvot ylös. Kirjatut arvot olivat palautusaika, alennusaste, jänniteraja sekä DC-virran säätö.

Näiden kirjausten jälkeen ylös otettiin jokaisesta ohjauskeskuksesta jokaisen kentän ajoarvot, mistä ilmeni kenttien sen hetkiset suodattimen jännite- ja virta-arvot

Mittausten yhteydessä oskilloskoopilla mitattiin ensiövirta ja muuntajan mittasignaalit sekä toisiovirta  $I_{dc}$  ja toisiojännite  $U_{dc}$  jokaisesta kentästä. Mittareista mA virta kertoo suodattimen sisällä kulkevan tasavirran  $I_{dc}$  suuruuden ja toisiojännite kV kertoo suodattimeen syötettävän tasajännitteen  $U_{dc}$  suuruuden. Nämä mitatut arvot ovat salattu salassapitosopimuksen mukaisesti.

Kirjattavat arvot asetellaan ohjauspaneelista 50mA välein josta kirjataan ylös jännite sekä ensiövirta molemmista kentistä.

Kun toisiovirta on saavuttanut maksimiarvonsa, se alkaa aiheuttaa läpilyöntejä sähkösuodattimen sisällä, eikä toisiovirta nouse korkeammalle enään järkevästi. Kenttä 1:ssä läpilyöntejä tulee pienemmällä alueella, koska se on ensimmäinen kenttä johon savukaasu tulee. Viimeisessä kentässä eli kenttä 3:ssa läpilyöntejä on merkittävästi vähemmän, koska suuri osa hiukkasista on jo suodatettu pois kenttä 1:ssä ja 2:ssa. Nämä mitatut arvot ovat salattu salassapitosopimuksen mukaisesti.

## 6.1 Mittasignaalit ennen modernisointia

Mittasin Sunilan tehtaalla myös mittasignaalit jokaisen sähkösuodattimen jokaisesta kentästä. Ensimmäiseksi kentästä mitataan Iac-Idc – mittasignaalit. Iac kertoo muuntajan/tasasuuntaajan ensiövirran, eli verkosta otetun virran mittasignaalin. Idc kertoo muuntajan/tasasuuntaajan suodattimeen syöttämän tasavirran mittasignaalin, eli toisin sanoen suodatinvirran / toisiovirran. Udc kertoo muuntajan / tasasuuntaajan suodattimeen syöttämän tasajännitteen mittasignaalin, eli toisin sanoen suodatinjännitteen/toisiojännitteen. Kertomalla Idc ja Udc keskenään, saadaan selville millä teholla suodatin toimii eli miten tehokkaasti se puhdistaa hiukkasia savukaasusta. Mitatut arvot ovat salattu salassapitosopimuksen mukaisesti.

## 7 MITTAUKSET MODERNISOINNIN JÄLKEEN

Modernisoinnin, uusien muuntajien asentamisen ja käyttöönoton jälkeen mittaukset tehtiin uudelleen. Soodakattila oli ollut käytössä noin 2 viikkoa ennen mittauksia. Tällä varmistettiin kattilan toimivuus sekä luotettavien tulosten saaminen analyysihin.

Mittaukset aloitettiin kirjaamalla mittauspöytäkirjaan virta/jännite – käyrät uuden ohjauspaneelin näytöltä, mikä modernisoinnissa pystyttiin tekemään yhdeltä ohjauspaneelilta valvomosta käsin. Mittauspöytäkirjaan kirjattiin myös aseteltuja arvoja ja sen hetkiset ajoarvot.

Ohjauspaneelistä otettujen arvojen jälkeen vaihdetuista muuntajista kirjattiin ylös oskilloskoopilla mitattavat arvot kuten suodatinvirta  $I_{dc}$  ja suodatinjännite  $U_{dc}$ . Nämä ovat mittasignaaleja jotka kertovat tietyllä skaalalla tasajännitteen ja tasavirran suuruuden suodattimen sisällä kulkevista arvoista.

Modernisoinnin jälkeen otettiin ajoarvot uudelleen ylös ja verrattiin arvoihin, ennen modernisointia. Nämä mittaukset ovat salattu salassapitosopimuksen mukaisesti.

## 8 TULOKSET

Tuloksissa vertaillaan keskenään ennen modernisointia ja modernisoinnin jälkeen tehtyjä virta/jännite-mittauksia ja niistä saatuja tuloksia. Näistä laskettiin teho jokaisesta kentästä mitatuilla jännite ja virta-arvoilla. Lopuksi verrattiin tehon ja savukaasupäästöjen muutos prosentuaalisesti.

Ennen modernisointia tehdyt virta/jännite-mittaukset tehtiin muuttamalla toisiovirran arvoa 50-100 mA välein ohjauspaneelistä. Toisiovirtaa muuttamalla saatiin selville onko poikkeuksia jännitteessä ja ensiövirrassa.

Kun toisiovirta tai toisiojännite on maksimissaan tai kentässä alkaa esiintymään läpilyöntejä, muuntaja toimii suurimmalla mahdollisella teholla, jonka se pystyy sillä hetkellä kenttään syöttämään. Tästä esimerkkinä A-kentässä tapahtuu paljon pienemmällä toisiovirran arvolla läpilyöntejä, sillä savukaasu tulee A-kenttään kaikista kentistä ensimmäisenä ja taas C-kentässä toisiovirta menee maksimiin lähes aina, sillä suurin osa savukaasuista on jo suodatettu aikaisemmissa kentissä. Tulokset on salattu salassapitosopimuksen mukaisesti.



## 9 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Modernisoinnin tavoitteena oli saada uusilla muuntajilla savukaasujen hiukkaspäästöjä pienemmiksi ja täten kasvattaa tehoa sähkösuodattimissa sähkölaitteiden modernisoinnin avulla. Vertaillessa tuloksia huomaa selkeästi tehon kasvaneen ja näin ollen modernisointi tuottaa paremman tehon savukaasujen hiukkasten puhdistukseen. Tuloksia vertaillessa käytettiin ohjauspaneelilta toisiovirran arvoja muuttamalla toisiovirran ja toisiojännitteen huippuun yltäviä lukemia jokaisen suodattimen kentistä. ECP Group Oy aikoo hyödyntää tutkielmasta saatua informaatiota jatkossa yrityksen omiin projekteihin ja näin ollen saada paremman tuloksen modernisoitaviin laitteisiin.

## LÄHTEET

Stora Enso Sunila Oy:n tehdasesite lokakuu 2019. Viitattu 08.11.2019

Stora Enso Oy:n www-sivut 2019. Viitattu 19.12.2019

<https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso>

<https://www.storaenso.com/fi-fi/about-stora-enso/our-history>

ECP Group Oy:n sähkösuodattimen käyttö- ja hoito-ohje. Viitattu 11.11.2019

Knowpulp.com www-sivut 2019. Viitattu 20.10.2019

[http://www.knowpulp.com/www\\_demo\\_version/suomi/pulping/recovery\\_boiler/1\\_general/frame.htm](http://www.knowpulp.com/www_demo_version/suomi/pulping/recovery_boiler/1_general/frame.htm)

Biotalous.fi www-sivut 2019. Viitattu 23.10.2019

<https://www.biotalous.fi/sellu/>

NWL.com www-sivut 2019. Viitattu 23.10.2019

<https://www.nwl.com/products/esp-products/powerplus-power-supplies-for-esps/>

NWL DSP PowerPlus Series 6:n tuoteopas 2019. Viitattu 17.12.2019.

NWL esite 3 2019. Viitattu 18.12.2019.

ECP Group Oy:n www-sivut joulukuu 2019. Viitattu 19.12.2019

<https://ecpgroup.eu/>